6Д

УДК 004.738.5

М.В. Давидов, О.А. Лозицький, В.В. Пасічник
Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Україна
Україна, 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, *netexpo@yahoo.com*

Метод та інформаційна технологія озвучення математичних формул українською мовою

M.V. Davydov, O.A. Lozytskyy, V.V. Pasichnyk
Lviv Polytechnic National University MES of Ukraine, Ukraine
Ukraine, 79013, c. Lviv, S.Bandery str., 12, netexpo@yahoo.com

Method and Information Technology of Math-to-Speech in Ukrainian

М.В. Давыдов, А.А. Лозицкий, В.В. Пасичник
Национальный университет «Львовская политехника» МОН Украины, Украина
Украина, 79013, г. Львов, ул. С. Бандеры, 12, netexpo@yahoo.com

Метод и информационная технология озвучивания математических формул на украинском языке

У даній статті досліджується проблема автоматичного озвучення математичних формул та символів. Авторами отримані практичні результати, які дають змогу розробити достатньо якісну програму озвучення формул українською мовою. У результаті роботи розроблено інформаційну технологію перетворення математичних формул із різних форматів у мову MathML та генерування текстових файлів для озвучення українською мовою.
Ключові слова: інформаційна технологія, математичні вирази, формули, синтезатор мови, озвучення, перетворення, мова MathML, формат TeX, формат DAISY.

This article contains problem of automatic speech mathematical formulas and symbols. The authors obtained practical results that allow to develop the quality mathematical speech system. As a result was developed information technology of mathematical formulas transformation with different formats and text files for speech generation in Ukrainian.
Key words: information technology, mathematical equations, formulas, speech synthesizer, sound, conversion, MathML, TeX, DAISY, math-to-speech.

В данной статье исследуется проблема автоматического озвучивания математических формул и символов. Авторами получены практические результаты, позволяющие разработать достаточно качественную программу озвучивания формул на украинском языке. В результате работы разработана информационная технология преобразования математических формул различных форматов в язык MathML и создание текстовых файлов для озвучивания на украинском языке.
Ключевые слова: информационная технология, математические выражения, формулы, синтезатор речи, озвучивания, преобразования, речь MathML, формат TeX, формат DAISY.

Вступ

Користувачі з вадами зору використовують для роботи з комп’ютером спеціальні програми читання екрана (screen reader). Такі програми озвучують веб-сторінки та вміст вікон програм. Під терміном «озвучення» розуміємо використання синтезатора мови для промовляння вголос тексту, який міститься на веб-сторінці або в іншому електронному джерелі.

У процесі автоматичного озвучення інформаційного контенту виникає ряд проблем, пов'язаних із перетворенням та поданням математичних формул. Через те, що процес озвучення формул українською мовою не автоматизований, користувачі змушені користуватися англомовними програмами озвучення формул, такими як MathDaisy.

Під час навчання та роботи незряча людина часто стикається з необхідністю прочитати математичні формули та символи, які зустрічаються в текстах книг чи навчальних підручників. Для читання математичних формул потрібні спеціальні засоби, які використовують аналіз цих формул з подальшим перетворенням їх до потрібного формату, що дозволить їх озвучити.

Дослідження, проведені авторами, показали, що найчастіше проблема розуміння математичних формул виникає при:

1) читанні Інтернет-сторінок із технічно-прикладним вмістом (відсутні засоби, які би дозволяли під час роботи в мережі Інтернет у реальному часі перекладати та озвучувати математичної формули);

2) читанні наукових статей у форматі PDF (існують недосконалі засоби розпізнавання математичних формул, представлених у вигляді рисунка з документів PDF і транслювання їх мовою MathML, проте, відсутні засоби озвучення таких формул);

3) роботі з паперовою книгою із використанням читаючого сканера (відомі засоби відображення та розпізнавання математичного контенту, друкованого на папері, проте, відсутні засоби його озвучення).

Необхідність озвучення формул виникає не лише при роботі з програмою читання екрана, але і при озвученні книг, газет, наукових статей. Озвучення усіх формул для інформаційного наповнення диктором вимагає значних часових затрат, а тому розроблення інформаційної технології для автоматизації процесу озвучення математичних формул українською мовою є актуальним завданням. Вирішення цього завдання є важливим для навчання студентів із вадами зору математичним та прикладним дисциплінам у навчальних закладах різного типу.

Огляд останніх досліджень

На сьогодні відомі засоби озвучення математичних формул англійською мовою [1], [2], проте процес озвучення формули українською мовою лишається не досліджений, що створює завади для озвучення контенту для україномовних користувачів із вадами зору.

Останні дослідження в галузі озвучення математичних формул [3-5] зосереджені лише на озвученні формул англійською мовою. Дослідження цих засобів показало, що вони не придатні для озвучення формул українською мовою та не містять засобів локалізації.

Задача озвучення математичної формули лежить у площині задач комп'ютерного перекладу, оскільки має усі ознаки таких задач, а саме необхідність часткового розуміння змісту формули для правильної інтерпретації, побудову проміжного комп'ютерного запису формули та розроблення засобів кодування формули вихідною мовою.

Застосування до читання формул популярного на сьогодні статистичного методу комп'ютерного перекладу [6] не є доцільним, оскільки немає відомих баз паралельних текстів «формула – україномовний текст».

Найближче задача читання формули подібна до задачі перекладу з використанням універсальної проміжної мови «interlingua» [7]. У випадку математичної формули такою проміжною мовою може бути мова математичної розмітки MathML, мова TeX, OpenOffice Math або інша.

На сьогодні існує велика кількість електронних форматів для запису математичних формул: TeX, MathType, Equation, OpenOffice Math, MathML та інші спеціалізовані мови. Крім того, у документах формули можуть зберігатися у вигляді растрових або векторних зображень. Таке розмаїття форматів спричинене незалежним розвитком систем редагування формул, який передував прийняттю єдиного стандарту, до якого можуть конвертувати формули різні математичні редактори.

Таким стандартом стала мова MathML (Mathematical Markup Language), рекомендована консорціумом W3C. Мова MathML базується на мові розмітки XML (eXtensible Markup Language – розширювана мова розмітки) та призначена перш за все для комп'ютерного подання формул. Запис формули мовою MathML громіздкий та не зручний для редагування користувачем. З іншого боку, формула мовою MathML подана деревовидною структурою, яка дає змогу однозначно описати семантику математичного виразу в інформаційній системі [8-10].

Мова математичної розмітки MathML забезпечує такі можливості:

– кодування матеріалів математичного характеру для комунікацій всіх рівнів освітнього і наукового типу;

– кодування як математичної символіки, так і її змісту;

– створення шаблонів та інших прийомів математичного редагування;

– перетворення в інші математичні формати презентаційного і семантичного характеру;

– відображення формул із врахуванням особливостей конкретних програм візуалізації;

– підтримка ефективних процесів перегляду довгих математичних формул;

– можливості розширення.

Альтернативою формату MathML для подання семантики математичної формули є формат OpenMath [11]. Формат OpenMath задає лише семантику математичної формули, натомість формат MathML може визначати структуру відображення математичної формули. На сьогодні формат OpenMath ще не набув такої популярності, як MathML, а тому бракує засобів перетворення формул у цей формат.

Ще одним форматом, який класично використовується для редагування та видання наукової літератури, є формат TeX. TeX – це система підготовки документів типографської якості, особливо сильною стороною якої є набір математичних формул. Ця система була розроблена ще у 1970-х роках американським математиком Д. Кнутом.

TeX зручно розглядати як спеціальну мову програмування: вихідний файл – це програма, що описує, як повинні бути розташовані на друкованій сторінці текст і формули, сама система TeX грає роль компілятора, а в результаті компіляції створюється документ типографської якості у форматі PDF, PostScript або в традиційному для TeX'a форматі DVI (DeVice Independent). Стиль роботи при підготовці тексту в системі TeX відрізняється від стилю при роботі з редактором Microsoft Word і є ближчим до програмування, ніж до редагування тексту.

На відміну від мови MathML, TeX не підтримує деревовидне подання формули та допускає неоднозначне трактування семантики математичного виразу.

Серед засобів перетворення документа TeX на мову MathML найбільш якісною вважається програма TtM, розроблена А. Хатчінсоном (I. Hutchinson) [12]. Ця програма перетворює документ TeX у файл формату XHTML, до складу якого входять MathML формули.

Крім формул, поданих у вигляді структурованих даних, виникає потреба в перетворенні формул, поданих у вигляді зображень. Такі зображення можуть бути отримані зі сканера, документів у форматі PDF або неякісних Інтернет-сторінок, автори яких знехтували вимогою доступності.

Аналіз документів, у яких зустрічаються математичні формули у форматі PDF, як і раніше є складним, невирішеним завданням. На сьогодні розпізнавання складних математичних формул із зображень можливе лише зі значними неточностями передавання змісту формули [13].

Програма Infty використовує технологію оптичного розпізнавання символів OCR (Optical character recognition) і застосовує структурний аналіз до отриманого результату [14]. Використання програми Infty доцільне при розпізнаванні математичних формул із растрових зображень і PDF файлів та для подальшого запису мовою MathML.

Інші комерційні засоби редагування формул, такі як: MathType, MathCad, Mathematica та інші підтримують збереження формул мовою MathML. Для запису формул мовою MathML, які містяться в документах Microsoft Word та OpenOffice, використовують засоби перетворення документів у TeX, наприклад, GringEQ Word-to-LaTeX та writer2latex.

На сьогодні, найбільш потужним програмним засобом, який може конвертувати і озвучувати математичні формули є комерційний продукт MathDaisy [15]. MathDaisy озвучує формули лише англійською мовою, що є значним недоліком для україномовних користувачів. MathDaisy забезпечує повну підтримку математики у книгах, що «розмовляють» у форматі DAISY.

Система керування цифровим доступом DAISY (Digital Accessible Information System) – це відкритий міжнародний стандарт для мультимедійного доступу, розроблений DAISY-консорціумом разом з працівниками бібліотек, для осіб з фізичними недоліками та вадами зору у співпраці з передовими науковцями і користувачами з усього світу [16]. Технологія DAISY базується на синхронізації тексту, графіки і аудіозаписів на базі рекомендацій W3C (World Wide Web Consortium) відповідно до потреб людей, які вимагають особливого доступу до інформації.

Головна перевага книги, що «розмовляє», поданої у форматі DAISY, над звичайною аудіокнигою, полягає у можливості індексування і пошуку інформації за ключовими словами. Так, користувачі можуть прослухати всю книгу лінійно, від початку до кінця, або використовуючи засоби навігації, які дозволяють швидко переходити від одного розділу до іншого, від абзацу до абзацу, або відзначати закладкою відповідні місця в тексті для повторного прослуховування (прочитання).

Цілі статті

Фактично, задача озвучення формули зводиться до розроблення системи правил, за якими перетворюється внутрішнє представлення формули до зовнішнього представлення українською мовою.

Авторам не відомі публікації українською мовою, де були би зібрані правила читання математичних формул, але відомі такі публікації російською мовою [17]. Ці публікації узяті авторами за основу правил читання, враховуючи схожість української та російської мов.

Процес аудіовідтворення формул та математичних символів українською мовою не досліджений. Немає систем озвучення формул українською мовою, що значною мірою звужує можливості незрячої людини при навчанні прикладним предметам у навчальних закладах.

У статті обґрунтовано вибір мови MathML для внутрішнього подання формул та описано розроблений авторами метод озвучення математичних формул українською мовою.

Авторами розв'язано задачу опрацювання, перетворення та озвучення математичних формул, які зустрічаються у текстах, з якими працює незрячий користувач. Розроблений метод є частиною інформаційної технології озвучення формул, записаних у різних форматах. Інформаційна технологія включає в себе набір правил, що дає змогу в автоматизованому режимі розібрати математичну формулу, подану в різних форматах (TeX, PDF, JPG), та озвучити її українською мовою за допомогою синтезатора мови, який називається «український голос UkrVox – Ігор».

Розроблення технології виконувалось із врахуванням подальшої практичної реалізації автоматизованої прикладної програмної системи комп'ютерного опрацювання та подання даних для людей із вадами зору. Результати досліджень авторів статті містять розроблену програму перетворення та озвучення математичних формул українською мовою, що вирішує проблему повноцінного вивчення математики для незрячої людини та робить доступними електронні книги, в яких використовуються математичні символи.

Подальше вдосконалення розроблених технологій може здійснити значний внесок у вирішення проблеми інтеграції людей з вадами зору у суспільство, зокрема, навчання сліпих та людей з частковою втратою зору у вищих навчальних закладах.

Основний матеріал. Вибір мови внутрішнього подання формул та запис формул українською мовою

Враховуючи найбільше поширення мови MathML, деревовидну структуру цієї мови та наявність засобів перетворення формул, записаних у різних форматах, до мови MathML доцільно використати саме мову MathML для внутрішнього запису формул. Авторами обрано мову MathML як проміжну для засобів озвучення формул.

Для подальшого запису математичних формул українською мовою авторами розроблено програму, яка називається MathPlay. На вхід програма отримує формулу мовою MathML, а на виході формує текст українською мовою, який описує формулу.

На перший погляд, найзручніше для цього використати XSLT (eXtensible Stylesheet Language Transformations – мову програмування, яка використовується для програмування перетворення документів XML), але недоліки XSLT синтаксису, обмеженість засобів програмування та складність супроводу XSLT, вимагають альтернативних підходів до перетворення MathML формул [18]. Найчастіше, XSLT використовується для перетворення структурованих XML документів, веб-сторінок або документів PDF.

Для перетворення математичних формул, поданих у різних варіантах запису MathML (презентаційний та семантичний) у текст українською мовою, авторами статті розроблено спеціальну систему правил. Система складається з правил запису математичних символів, операторів, загальних виразів та уточнених виразів. Правила для уточнених виразів необхідні у випадку, коли результат читання залежить не лише від вузла дерева, але і від значення його нащадку. Наприклад, x^2 варто прочитати «ікс квадрат», а не «ікс у степені два». Правила сформовані таким чином, щоб вихідний текст міг прочитати синтезатор української мови.

Розроблені правила перетворення математичної формули поділяються на чотири групи:

1. Правила перетворення символів. Відповідно до цих правил, MathPlay перетворює символи формул, записаних мовою MathML наприклад, «x» – «ікс», «a» – «а», «b» – «бе», «c» – «це», «dt» – «де те», «\u221E» – «безмежність» та ін.

2. Правила перетворення операторів. За допомогою цих правил перетворюються оператори формул, наприклад, «-» або «minus» – «мінус», «+» або «plus» – «плюс», «=» або «eq» – «дорівнює», «times» – «помножити», «±» – «плюс мінус», «(» – «відкрити дужку», «)» – «закрити дужку», «\u222B» – «інтеграл» та ін.

3. Правила перетворення загальних виразів. Ці правила використовуються в наступних випадках: «msup» – «**число_1** піднести до степеня **число_2**», «mfrac» – «**число_1** поділити на **число_2**», «msqrt» – «корінь квадратний з **число_1**», «power» – «**число_1** у степені **число_2**», «root» – «корінь степеня **число_1** від **число_2**» та ін.

4. Правила перетворення уточнених виразів. Ці правила використовуються в таких випадках: «power 2» – «квадрат», «power 3» – «куб», «root 3» – «корінь кубічний від **число_1**», «apply plus» – «**число_1** плюс **число_2**» та ін.

Для трансформування дерево математичного виразу MathML подається множиною вузлів $S=\{s_1,s_2,...,s_n\}$ та функцією відображення вузлів на список їх нащадків $C{:}S\to L$, де L – множина усіх можливих списків сформованих на множині S.

Атрибутом *Text(s)* кожного вузла $s\in S$ є текст, який зберігається у вузлі. Цей текст може бути тегом MathML, назвою математичної змінної, числовим записом або математичним символом.

Правила, які застосовуються для трансформування вузлів, мають форму

$$R=\langle t,n,T,G\rangle,$$

де t – значення атрибуту *Text(s)* вузла s до якого може застосовуватися правило, n – кількість нащадків вузла s, $T=\langle t_1,t_2,...t_n\rangle$ – список довжини n, який задає вимоги до кожного вузла нащадка, G – шаблон рядка, який генерується правилом.

Шаблон G може містити посилання на значення вузлів нащадків, наприклад, «**число_1** поділити на **число_2**».

Усі правила трансформування впорядковано за пріоритетом від найбільш деталізованих до найбільш загальних та записано в список *RuleList*. Правило трансформування $R=\langle t,n,T,G\rangle$ може бути застосоване до вузла s, якщо виконуються такі вимоги:

1. $Text(s)=t;$
2. $|C(s)|=n;$
3. $\forall i\in\{1,2,...n\}: t_i='*'\vee Text(C(s)[i])=t_i$, де $C(s)[i]$ позначає i-й елемент списку $C(s)$.

У результаті застосування правила трансформування до вузла s, текстовий атрибут *Text(s)* замінюється на стрічку, згенеровану за шаблоном G, а усі вузли-нащадки вузла s, видаляються.

Процедура трансформування вузла s визначається рекурсивно за наступним алгоритмом:

Крок 1. Трансформувати усі вузли-нащадки зі списку $C(s)$.

Крок 2. Знайти в списку *RuleList* перше правило, яке може бути застосоване до вузла s та застосувати його.

Крок 3. Якщо на кроці 2 не знайдено жодного правила, результатом трансформування вузла s буде $Text(s)$ + '' + $Text(C(s)[1])+\cdots+$ ''+$Text(C(s)[n])$.

Трансформування усього виразу MathML полягає в застосуванні процедури трансформування до кореневого вузла.

Інформаційна технологія озвучення формул українською мовою

Для озвучення математичних формул, записаних у різних форматах, авторами розроблено інформаційну технологію, яка складається із сукупності методів опрацювання та перетворення формул. Розроблена інформаційна технологія містить такі етапи опрацювання математичної формули:

1. **Сканування формули.** На цьому етапі відбувається сканування формули з відповідного інформаційного джерела (газета, книга, електронний документ, зображення тощо). Для прикладу, відскановано формулу з математичного друкованого журналу. Якщо ж формула представлена засобами мови MathML, то потрібно перейти відразу до третього етапу.
2. **Розпізнавання та перетворення формули до MathML.** Наступним етапом є розпізнавання відсканованої формули, а також подання її мовою MathML. Для розпізнавання відсканованої формули або графічного зображення треба скористатись засобами програми Infty, яка дає змогу перекласти формулу мовою MathML або TeX. Отже, на виході ми отримуємо файл із розширенням *.mml, в якому записана формула.
3. **Формування тексту для озвучення.** На цьому етапі за допомогою розроблених авторами правил відбувається розбір математичної формули на ідентифікатори, числа та оператори для подальшого озвучення. На виході отримуємо текстовий файл у форматі TXT: «Ікс квадрат дорівнює ігрик квадрат плюс зет квадрат».
4. **Озвучення або збереження у форматі WAV.** Цей етап виконує озвучення текстового файла, який був створений на попередньому етапі. На цьому етапі підключається синтезатор мови, використовується український голос. У результаті озвучення ми отримуємо звуковий файл у форматі WAV, який може бути використаний для звичайного прослуховування незрячим користувачем або ж при побудові аудіокниги.

Для озвучення сформованого текстового файла математичної формули (етап 4) використано синтезатор мови, який називається «український голос UkrVox – Ігор», за основу якого взято голос диктора українського радіо Ігоря Мурашко.

Цим голосом можна озвучувати українські (а також англійські та російські) тексти. «Український голос UkrVox – Ігор» має сильну лінгвістичну базу, великий словник (кілька десятків тисяч слів), підтримку словотворення та морфологічного аналізу текстів [19].

У результаті озвучення отримано аудіофайл із записом формули у форматі *.wav.

Аналіз результатів

На рис. 1 схематично зображено сукупність методів перетворення формул із різних форматів до MathML для подальшого озвучення. Ці методи формують інформаційну технологію перетворення формул для їх озвучення або запису в аудіо-файл.

Спочатку відбувається аналіз формату, в якому подана математична формула і приймається рішення, яким чином вона буде перетворена до мови MathML.

Після запису мовою MathML формула перетворюється за алгоритмом перекладу, описаним раніше.

Нами було проведено чотири групи експериментів з перетворення математичних формул у різних форматах на мову математичної розмітки MathML, а також експеримент з озвучення отриманих MathML формул (експеримент № 5).

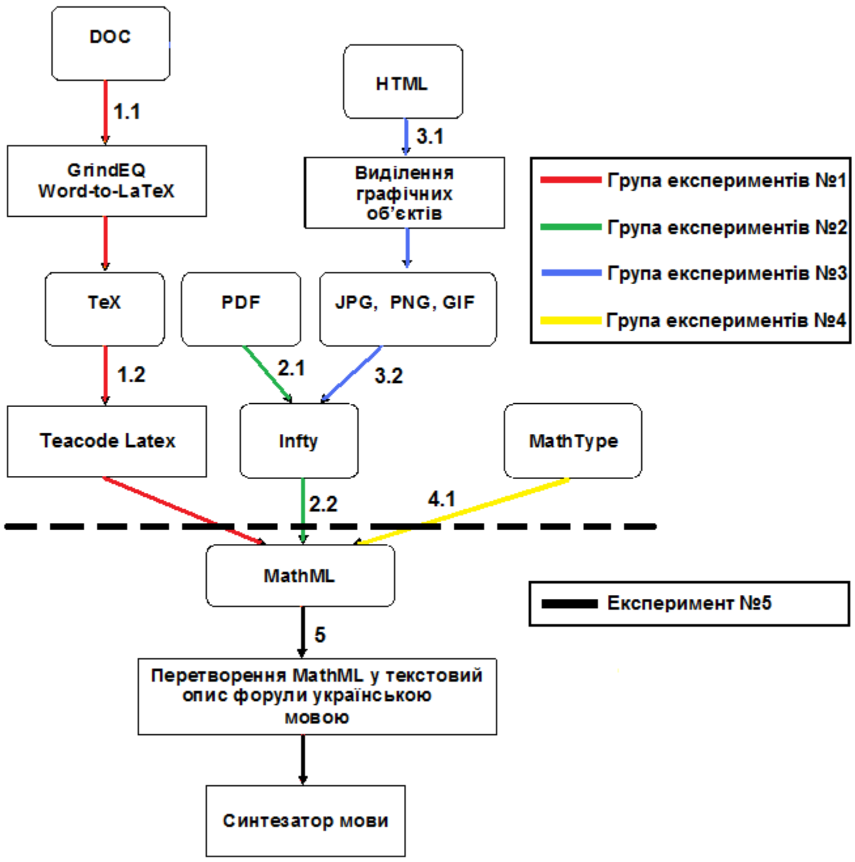


Рисунок 1 – Інформаційна технологія озвучення формул

Для проведення експериментів з перетворення формул на мову MathML взято набір математичних формул різної складності, від простих, $\sqrt{a+b}=6$, до складних, $f(x)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos\frac{n\pi x}{L}+b_n\sin\frac{n\pi x}{L})$

Тестова база для чотирьох груп експериментів містила усього 100 формул (по 25 формул на кожну групу експериментів), з яких 20 – прості арифметичні вирази, 20 – тригонометричні вирази, 20 – інтеграли та похідні, 20 – формули лінійної алгебри та 20 – ряди, границі тощо.

У ході проведення експериментів використано безкоштовне програмне забезпечення (UkrVox, Ttm, OpenOffice) та демонстраційні версії комерційних продуктів (GrindEQ Math Utilities, InftyReader, MathType тощо).

Група експериментів № 1 *(*.doc → «GrindEQ Math» → TeX → Teacode Latex → MathML).*

Перша група експериментів полягає в перетворенні на мову MathML набору формул, записаних у форматі текстового документа Microsoft Word. Ця група експериментів виконується покроково:

Крок 1: Засобами плагіну GrindEQ Math Utilities було перетворено записані у документі Microsoft Word формули у формат TeX. Плагін GrindEQ Math Utilities містить набір повністю незалежних компонентів і забезпечує двостороннє перетворення між Microsoft Word та LaTeX. Існують й інші методи для представлення документа Microsoft Word у TeX/LaTeX, наприклад, Word2TeX, MathType, wvWare, rtf2latex2e, html2latex.

Крок 2: На цьому кроці відбувається процес перетворення формули з формату TeX на мову MathML. Для цього нами обрано он-лайн сервіс Teacode Latex (http:// www.teacode.com /service/latex), який забезпечує ввід формули у форматі TeX та перетворення її на мову MathML, а також дає можливість відображення формули у графічному форматі (*.png), яку зберігає в себе на сервері за статичною (фіксованою) адресою. В результаті ми отримуємо текст формули на мові MathML, який потрібно скопіювати з веб-сайту та зберегти у текстовому файлі з розширенням *.mml. Найбільш поширеними редакторами (конверторами), які можуть перетворити формулу з TeX на мову MathML, є TtM (TeX to XHTML), Teacode Latex, TeXmacs, Amaya, MathType та TeX/LaTeX to MathML (MathML to TeX) Online Translator.

Група експериментів № 2 *(*.pdf → Infty → MathML).*

Друга група експериментів полягає в перетворенні на мову MathML набору формул, записаних у форматі Adobe Reader, *.pdf. Друга група експериментів виконується покроково:

Крок 1: Для підготовки документа з формулою у форматі Adobe Reader ми використали текстовий редактор Microsoft Word (Файл → Зберегти як → Документ в форматі PDF);

Крок 2: Далі ми скористались програмою для розпізнавання символів Infty, щоб розпізнати і записати формулу мовою MathML. Для цього у програмі Infty відкриваємо наш файл з розширенням *.pdf, обираємо мову розпізнавання (якщо додатково потрібно розпізнати текст, у якому зустрічаються формули), вказуємо вихідний формат файла XHTML (MathML) в полі «Output File Format» та починаємо розпізнавання за допомогою кнопки «Start OCR». В результаті розпізнавання формули засобами програми Infty отримано XHTML файл, у якому записана ця формула мовою математичної розмітки MathML.

Група експериментів № 3 *(*.html → виділення графічних об'єктів → JPG, PNG, GIF→ Infty → MathML).*

Третя група експериментів полягає в перетворенні на мову MathML набору формул, записаних у вигляді веб-сторінки *.html. Далі описано проведення групи експериментів покроково:

Крок 1: Для виділення графічних об'єктів відкриваємо веб-сторінку з формулою у браузері і клікнувши правою кнопкою миші на формулу вибираємо «Зберегти рисунок як» і зберігаємо на комп'ютер. В результаті отримано графічний формат формули (JPG, PNG або GIF).

Крок 2: Наступним кроком є розпізнавання збереженого з веб-сторінки графічного формату формули за допомогою Infty. Для цього у програмі Infty відкриваємо цей файл, в полі «Input File Format» вибираємо вхідний формат файла *.png, вказуємо вихідний формат файла XHTML (MathML) в полі «Output File Format» розпізнаємо за допомогою кнопки «Start OCR». В результаті розпізнавання отримано XHTML файл, у якому записана наша формула мовою математичної розмітки MathML.

Група експериментів № 4 *(MathType → MathML).*

Четверта група експериментів полягає в перетворенні на мову MathML набору формул, записаних засобами MathType. Оскільки засоби програми MathType не дозволяють зберігати формули мовою MathML за замовчуванням, то для цього потрібно налаштувати програму. Для цього заходимо в налаштуваннях програми, в підменю «Cut and Copy Preferences…» та вибираємо «MathML or TeX» – MathML 2.0 (namespace attr) і знімаємо галочку з «Include MathType data in translation». Це дає змогу копіювати перекладену на мову MathML формулу з середовища MathType. Наступним кроком є збереження скопійованої формули у текстовому файлі з розширенням *.mml.

Після проведення чотирьох груп експериментів, можна зробити висновки щодо ефективності того чи іншого способу перетворення математичної формули на мову MathML.

При розпізнаванні математичних формул та перетворенні їх на мову MathML засобами програми Infty, було зроблено найбільшу кількість помилок. З 50 формул різної складності (25 формул з групи експериментів № 2 та 25 формул з групи експериментів № 3) було розпізнано правильно лише 21 формулу, що складає 42%. Власне недосконалість засобів розпізнавання цієї програми не дала точності при розпізнаванні ряду формул. Наприклад, формулу середньої складності $\sqrt[s]{b+c}=a$, програма Infty розпізнала не правильно, з двома помилками: $3\sqrt{b+c}=\Omega$. Для вирішення цієї проблеми необхідно використовувати додатковий інструмент – редактор InftyEditor та в ручному режимі правити формулу. Головним недоліком цього способу розпізнавання є великі часові затрати на ручне редагування неправильно розпізнаних формул.

Натомість, результат проведення першої та четвертої груп експериментів дали на 100% правильний результат з перетворення формул на мову MathML. Це зумовлено точністю програм, які використовувались, а також, відсутністю графічних об’єктів, які потребують використання OCR.

Експеримент № 5 *(озвучення українським голосом формули, яка записана мовою MathML).*

Для проведення експерименту було взято сто п’ятдесят формул. Всі формули розбиті на групи: рівняння (раціональні, квадратні, лінійні), нерівності, тотожні вирази, дробові вирази та функції. В кожній групі присутні формули різної складності.

Оскільки людина, як правило, психологічно сприймає одночасно 7±2 елементи (від 5 до 9 об’єктів), якими вона оперує в пам’яті, формули було погруповано за складністю. Складність формули визначалась кількістю операндів, чисел та математичних операцій.

Простою формула вважалась, якщо вона задовольняла наступні вимоги:

– менше 5 операндів (A, b, x, Z та ін.);
– менше 5 математичних операцій (+, =, *, / та ін.);
– менше 5 чисел (5, 16, 32, 12,5 тощо.).

Формула вважалась середньої складності, якщо вона задовольняла наступні вимоги:

– від 5 до 6 операндів;
– від 5 до 6 математичних операцій;
– від 5 до 6 чисел.

Складною формула вважалась, якщо вона задовольняла вимоги:

– більше 6 операндів;
– більше 6 математичних операцій;
– більше 6 чисел.

Експеримент полягає в коректному сприйнятті на слух озвученої математичної формули та записі її у блокноті після/під час прослуховування. Озвучення групи математичних формул відбувається за допомогою розробленої авторами програми MathPlay.

Для проведення експерименту було запрошено групу з п’яти зрячих студентів 3 та 4 курсів спеціальності комп’ютерні технології. Студентам було видано блокноти та ручки для запису прослуханих формул.

Кожна із 150 спроб проведеного експерименту вважалась успішною, якщо після двох прослуховувань студент записав формулу в блокноті без помилок.

Результати експерименту зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати експерименту № 5

Вірних спроб / Учасники експерименту	прості формули	формули середньої складності	складні формули
1-й студент	50	50	48
2-й студент	49	50	44
3-й студент	50	48	40
4-й студент	49	47	35
5-й студент	50	44	40

В результаті виконання першої частини експерименту над простими формулами ми отримали наступний результат: $\frac{50+49+50+49}{5}\times 2 = 99,2\%$. По розрахункам другої частини експерименту над формулами середньої складності отримано результат: $\frac{50+50+48+47+44}{5}\times 2 = 95,6\%$. Третя частина експерименту над складними формулами показала такий результат: $\frac{48+44+40+35+40}{5}\times 2 = 82,8\%$.

Отже, можна зробити висновок, що розроблена програма озвучення математичних формул MathPlay показала хороший результат (92,5%) для різних за складністю формул.

Зі слів учасників експерименту головна складність полягала в розумінні синтезованого голосу та швидкості відтворення, а також складність формули.

Здебільшого, причиною помилок при записі озвучених формул був синтезатор української мови «український голос UkrVox – Ігор». Відповідно, якщо буде розроблений якісний синтезатор української мови, який максимально наблизить звучання до природного голосу, то відсоток розуміння озвученої формули з першого разу зросте до максимального. Проблема розроблення якісного синтезатора української мови залишається актуальною і не розв'язаною до кінця вже тривалий час.

Висновки

Дослідження проблеми автоматичного озвучення математичних формул та символів показало, що із застосуванням системи правил перетворення тегів MathML розроблено якісну програму озвучення формул українською мовою (92,5%) для різних за складністю формул.

Отримані результати вже дають змогу застосувати програму озвучення на практиці для навчання незрячих користувачів. Розроблено інформаційну технологію перетворення математичних формул із обраної множини форматів у мову математичної розмітки MathML, з якої генерується текстовий файл для озвучення українською мовою. Також, стало можливим використання озвучених українським голосом формул для створення навчальних підручників з математичними формулами у форматі DAISY засобами книг, що «розмовляють». Такі книги можуть використовуватись, перш за все, для навчання людей із вадами зору математичним та прикладним дисциплінам як у середніх, так і у вищих навчальних закладах. Отже, розроблена авторами інформаційна технологія озвучення математичних формул, які зустрічаються в українських текстах, є важливою компонентою для створення контенту в форматі DAISY для людей із вадами зору.

Подальше вдосконалення засобів озвучення математичних формул українською мовою вимагає розроблення якісного синтезатора української мови та вдосконалення методів підготовлення даних. У подальшому планується вдосконалити правила озвучення формул із додаванням відмінків та уточнення правил озвучення великих формул. Отримані результати не мають аналогів в Україні та Росії та є співмірними з англомовними розробленнями.

Література

1. Suzuki M. INFTY: an integrated OCR system for mathematical documents : in Proceedings of the 2003 ACM symposium on Document engineering, (Grenoble, France, 2003) [Електронний ресурс] / [Suzuki M., Tamari F., Fukuda R. and all.]. – ACM Press. – P. 95-104. – Режим доступу : http://www.inftyproject.org/ articles/2003_DocEng_Suzuki.zip.
2. W3C. MathML Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.w3.org/Math/ implementations.html.
3. Ayars J. Multimedia Integration Language (SMIL 2.0) [Електроннний ресурс] / Ayars J., Bulterman D., Cohen A. – 2005. – Режим доступу : http://www.w3.org/TR/2005/REC-SMIL2-20050107.
4. Design Science. MathType [Електроннний ресурс] / Design Science. – Режим доступу : http://www.dessci.com/ mathtype.
5. Design Science. WebEQ [Електроннний ресурс] / Design Science. – Режим доступу : http://www.dessci.com/webeq.
6. Brown P.F. The mathematics of statistical machine translation / P.F. Brown, S.A.D. Pietra, V.J.D. Pietra // Computational Linguistics. – 1993. – № 19 (2). – P. 263-313.
7. Hutchins J. THE EVOLUTION OF MACHINE TRANSLATION SYSTEMS / W. John Hutchins, V. Lawson (ed.) // PRACTICAL EXPERIENCE OF MACHINE TRANSLATION. – North-Holland Publishing Company. – © ASLIB, 1982.
8. «MathML2 recommendation» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.w3.org/TR/MathML2.
9. Катанова Т.Н. Набор и верстка математических текстов / Т.Н. Катанова, А.П. Шестаков // Информатика. – 2008. – № 12 (565). – 48 с.
10. Ron Ausbrooks. Mathematical Markup Language (MathML) Version 2.0 (Second Edition) / [Ron Ausbrooks, Stephen Buswell, David Carlisle et al.] // W3C Recommendation 21 October 2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.w3.org/TR/ MathML2.
11. OpenMath web site Ian Hutchinson [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.openmath.org/.
12. Ian Hutchinson. Web Publishing Mathematics With MathML [Електронний ресурс] / Ian Hutchinson // IAP 2004. – Режим доступу : http://web.m it.edu/acs/iap05/mathml/mathmlfuture.pdf.
13. Baker J. A linear grammar approach to mathematical formula recognition from PDF : in Proc. of Intelligent Computer Mathematics / Baker J., Sexton A., Sorge V. – 2009.
14. Josef B. Baker. Comparing Approaches to Mathematical Document Analysis from PDF [Електронний ресурс] / [Josef B. Baker, Alan P. Sexton, Volker Sorge et. all.]. - ICDAR 2011. – P. 463-467. – Режим доступу : http://www.inftyproject.org/en/index.html.
15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.dessci.com/en/products/mathdaisy/
16. Kawamura Hiroshi. DAISY: a better way to read, a better way to publish – a contribution of libraries serving persons with print disabilities / Hiroshi Kawamura // Proceedings of the World Library and Information Congress : 72nd IFLA General Conference and Council. Meeting 91 : Information Technology with Audiovisual and Multimedia and National Libraries (part 1), 20-24 August 2006. - Korea, Seoul. – Режим доступу : http://archive.ifla.org/IV /ifla72/ papers/091-Kawamura-en.pdf
17. Konev V.V. The Elements of Mathematics. Textbook. The Second Edition / Konev V.V. – Tomsk : TPU Press, 2001. – 140 pp.
18. Annamalai N. Accessing Documents via Audio An Extensible Transcoder for HTML to VoiceXML Conversion / Narayan Annamalai, Gopal Gupta, B. Prabhakaran // Computers Helping People with Special Needs, 9th International Conference, ICCHP 2004, Paris, France, July 7-9, 2004, Proceedings, Klaus, J.; Miesenberger, K.; Burger, D.; Zagler, W. (Eds.). – 2004. – V. XXIII. – 1191 p.
19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mytts.forum2x2.ru/t124-topic.

Literatura

1. Suzuki M., Tamari F., Fukuda R., Uchida S. and Kanahori T. INFTY: an integrated OCR system for mathematical documents : in Proceedings of the 2003 ACM symposium on Document engineering, (Grenoble, France, 2003). ACM Press. P. 95-104. http://www.inftyproject.org/ articles/2003_DocEng_Suzuki.zip.
2. W3C. MathML Software – http://www.w3.org/Math/implementations.html.
3. Ayars J., Bulterman D., Cohen A., Day K., Hodge E., Hoschka P., Hyche E., Jourdan M., Kim M., Kubota K., Lanphier R., Layaida N., Michel T., Newman D., van Ossenbruggen J., Rutledge L., Saccocio B., Schmitz P. and ten Kate, W. Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL 2.0) - [Second Edition], 2005. – http://www.w3.org/TR/2005/REC-SMIL2-20050107.
4. Design Science. MathType. – http://www.dessci.com/ mathtype.
5. Design Science. WebEQ. – http://www.dessci.com/webeq.
6. Brown P.F., Pietra S.A. D., Pietra V.J.D. and Mercer R.L. (1993). The mathematics of statistical machine translation. Computational Linguistics. – № 19(2). – P. 263-313.
7. Hutchins J. The Evolution of Machine Translation Systems / W. John Hutchins // PRACTICAL Experience of Machine Translation, V. Lawson (ed.) North-Holland Publishing Company / © ASLIB, 1982.
8. MathML2 recommendation» http://www.w3.org/TR/MathML2.
9. T.N. Katanov, A.P. Shestakov. Nabor i verstka matematicheskih tekstov / Informatika. 2008. № 12 (565). 48 p.
10. Mathematical Markup Language (MathML) Version 2.0 (Second Edition) / Ron Ausbrooks, Stephen Buswell, David Carlisle et al. // W3C Recommendation 21 October 2003. – http://www.w3.org/TR/ MathML2.
11. OpenMath web site. http://www.openmath.org/.
12. Ian Hutchinson / Web Publishing Mathematics With MathML // IAP 2004. http://web.m it.edu/acs/ iap05/mathml/mathmlfuture.pdf.
13. J. Baker, A. Sexton, and V. Sorge. «A linear grammar approach to mathematical formula recognition from PDF» : in Proc. of Intelligent Computer Mathematics, 2009.
14. Josef B. Baker, Alan P. Sexton, Volker Sorge, Masakazu Suzuki. Comparing Approaches to Mathematical Document Analysis from PDF. ICDAR 2011. – P. 463-467 – http://www.inftyproject.org/en/index.html.
15. MathDaisy – https://www.dessci.com/en/products/mathdaisy/
16. Kawamura Hiroshi DAISY: a better way to read, a better way to publish – a contribution of libraries serving persons with print disabilities/ Hiroshi Kawamura // Proceedings of the World Library and Information Congress: 72nd IFLA General Conference and Council. Meeting 91: Information Technology with Audiovisual and Multimedia and National Libraries (part 1), 20 – 24 August 2006 y, Korea, Seoul. – http://archive.ifla.org/IV /ifla72/ papers/091-Kawamura-en.pdf
17. V.V. Konev. The Elements of Mathematics. Textbook. The Second Edition. – Tomsk : TPU Press, 2001. – 140 p.
18. Annamalai N. Accessing Documents via Audio An Extensible Transcoder for HTML to VoiceXML Conversion / Narayan Annamalai, Gopal Gupta, B. Prabhakaran // Computers Helping People with Special Needs, 9th International Conference, ICCHP 2004, Paris, France, July 7-9, 2004, Proceedings, Klaus, J.; Miesenberger, K.; Burger, D.; Zagler, W. (Eds.). – 2004, XXIII. – 1191 p.
19. UkrVox – http://mytts.forum2x2.ru/t124-topic.

RESUME

M.V. Davydov, O.A. Lozytskyy, V.V. Pasichnyk

Method and Information Technology of Math-to-Speech in Ukrainian

The article describes the problem of automatic speech mathematical formulas and symbols (math-to-speech technology for Ukrainian). The authors developed information technology of mathematical formulas transformation with different formats and text files for speech generation in Ukrainian. The numerical experiments on a large number of equation showed the effectiveness of developed method and information technology of mathematical formulas transformation in Ukrainian.

Testing the automatic scoring of mathematical formulas and symbols showed that the use of transformation rules for MathML tagging developed by authors reached the correct result – 92,5% for different complexity of formulas.

Further improvement of math-to-speech requires the development of high-quality synthesizer and improving methods of preparing data of Ukrainian language.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2012.